

# 이동 무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 클러스터링 기법

준회원 이 은 희\*, 정회원 김 현 덕\*, 최 원 익\*, 채 진 석\*\*

## Energy Efficient Clustering Scheme for Mobile Wireless Sensor Network

Eun-Hee Lee\* *Associate Member,*  
Hyun-Duk Kim\*, Won-Ik Choi\*, Jin-Seok Chae\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문은 무선 센서 네트워크에서 이동 노드들의 위치 업데이트로 인한 에너지 소비를 최소화하는 EMSP(Efficient Mobility Support Protocol)을 제안한다. 제안하는 방법은 이동 노드들의 움직임을 고려한 virtual cluster와 클러스터의 균일한 노드 분포를 위한 node split 기법이다. 기존의 제안된 프로토콜은 Invitation phase 동안 이동 노드의 새로운 CH 선택으로 인하여 업데이트 통신비용이 발생한다. 이를 해결하기 위하여 R-tree의 일종인 LUR-tree에서 사용되는 Expanded MBR을 적용하여 업데이트시 발생하는 불필요한 에너지 소비를 감소시킨다. 또한, 제안하는 기법은 기존의 클러스터 노드 밀도 불균형 문제를 해결하기 위하여 R-tree에서 사용되는 split algorithm을 적용하였다. 성능 평가 결과, 기존의 제안된 LEACH-C protocol에 비하여 약 40%, M-LEACH protocol에 비하여 에너지 소비가 약 8% 감소하였다. 이는 제안된 기법이 무선 센서 네트워크에서 센서의 수명 연장 및 네트워크 확장에 용이하다는 것을 보여준다.

**Key Words :** WSN, Mobile Sensor Network, LEACH-C, M-LEACH, Node Split

### ABSTRACT

In this paper, we introduce an EMSP(Efficient Mobility Support Protocol) for mobile sensor network with mobility-aware. We propose virtual cluster and node split scheme considering movements of mobile nodes. The existing M-LEACH protocol suffers from communication cost spent on JOIN request information during invitation phase. To address this issue, the large boundary of the cluster in LUR-tree can reduce superfluous update cost. In addition to the expansion of the cluster, the proposed approach exploits node split algorithms used in R-tree in order to uniformly form a cluster. The simulated results show that energy-consumption has less up to about 40% than LEACH-C and 8% than M-LEACH protocol. Finally, we show that the proposed scheme outperforms those of other in terms of lifetime of sensor fields and scalability in wireless sensor network.

### 1. 서 론

무선 센서 네트워크는 유비쿼터스 환경의 핵심 기

반 기술로 많은 연구가 진행되고 있다. MEMS 기술과 저전력 설계 기술 등의 하드웨어의 발전과 함께 무선 센서 네트워크 기반의 응용 프로그램이 발전하고

\*인하대학교 정보통신공학과 (wichoi@inha.ac.kr), \*\* 인천대학교 컴퓨터공학과  
논문번호 : KICS2010-12-596, 접수일자 : 2010년 12월 13일, 최종논문접수일자 : 2011년 4월 6일

## II. 본 론

### 2.1 LEACH 와 LEACH-C

LEACH는 무선 센서 네트워크에서 사용되는 계층적 라우팅 프로토콜의 대표적인 기법이다. LEACH는 각 round마다 CH를 선출하고 클러스터를 구성하는 set-up phase와 TDMA(Time Division Multiple access) schedule에 따라 데이터를 전송하는 steady phase로 구성되어 있다. LEACH의 순서도는 그림 1과 같다.

set-up phase에서는 CH의 통신 오버헤드를 줄이기 위하여 수식 1을 이용하여 CH를 선출한다. 센서 노드들은 0에서 1사이의 임의의 수를 선택하고 t번째에서 선택한 임의의 수가 임계값(threshold)보다 적으면 CH로 선정된다. 수식 1에서  $C_i(t)$ 는 r round 동안 CH로 선출되지 않은 노드의 집합이다. 따라서 round가 증가함에 따라 모든 노드는 CH로 선출되기 때문에 상대적으로 에너지 소비를 많이 하는 CH의 균등한 에너지 소비를 유도한다.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N - k^*(r \bmod \frac{N}{k})} & A(t) = 1 \\ 0 & A(t) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

수식 1. LEACH의 CH 선출 공식

있다. 무선 센서 네트워크 환경은 주로 사람이 접근하지 못하거나 주기적인 모니터링이 필요한 분야에 사용되어지며 한정된 에너지 자원과 데이터 전송의 신뢰성을 높이기 위한 연구가 필수적이다.

무선 센서 네트워크의 에너지 효율성을 증가시키기 위하여 토폴로지 구성과 라우팅 프로토콜에 대한 다양한 기법들이 제안되고 있다. 라우팅 프로토콜의 대표적인 평면적 라우팅 프로토콜은 Directed Diffusion<sup>[1]</sup>과 SPIN<sup>[2]</sup>이다. 그러나 평면적 프로토콜은 센서 네트워크의 확장에 따른 데이터 전송량으로 인하여 통신 에너지가 증가되는 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여 제안된 계층적 구조의 클러스터링 기법은 클러스터의 CH(Cluster Head)가 각 노드로부터 데이터를 모아 sink로 전송하여 데이터 통신량과 메시지 전송 횟수를 줄인다. 대표적인 계층적 프로토콜은 LEACH<sup>[3]</sup>, LEACH-C<sup>[4]</sup>, PEGASIS<sup>[5]</sup>, TEEN<sup>[6]</sup> 등이 있으며 이를 응용하여 다양한 클러스터의 CH 선출 기법과 클러스터링 기법이 소개되었다<sup>[7-10]</sup>.

이러한 클러스터링 기법들은 Mobile Sensor Network에서도 이동성을 가지는 노드들에게 적용되었다. Mobile Sensor Network를 지원하기 위해서 M-LEACH<sup>[11]</sup>, LEACH-M<sup>[12]</sup>, LEACH-ME<sup>[13]</sup> 등이 제안되었으나 이동 노드에 대한 클러스터링 기법은 이동성을 지닌 CH와 노드들의 위치 업데이트를 위한 추가적인 통신비용이 발생하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 기존 M-LEACH 기법의 업데이트에서 발생하는 불필요한 통신비용을 줄이기 위해 이동 노드에 대한 새로운 클러스터링 기법인 EMSP (Efficient Mobility Support Protocol)을 제안하고자 한다. EMSP 기법의 Virtual Cluster 기법은 R-tree의 일종인 LUR-tree<sup>[14]</sup>에서 사용되는 Expanded MBR을 적용하여 기존의 이동 노드 클러스터링 기법의 새로운 CH 선택으로 인한 업데이트 통신비용과 조인 요청에 필요한 전송비용을 감소시킨다. 또한 업데이트 과정에서 너무 많은 조인 요청으로 인하여 발생하는 클러스터 내의 노드 밀도 불균형 문제를 해결하기 위하여 R-tree의 Split Algorithm<sup>[15]</sup>에서 착안한 클러스터링 Node Split 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 LEACH, M-LEACH 등과 같은 관련 연구를 소개하고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 기법을 소개한다. 4장에서는 제안한 기법의 성능 분석을 하고 5장에서 결론을 맺는다.

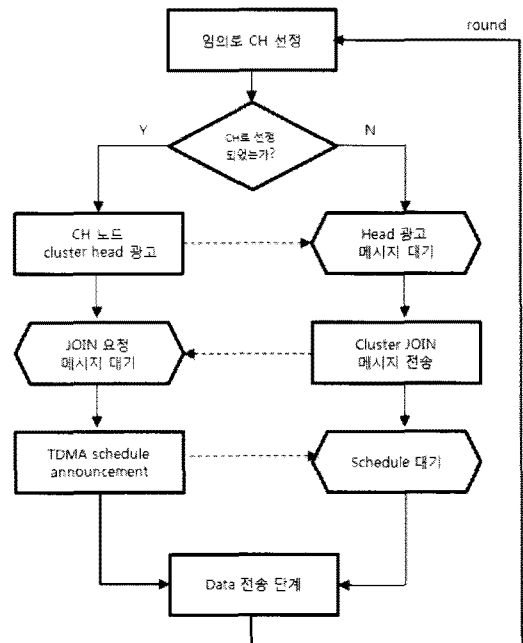


그림 1. LEACH 순서도

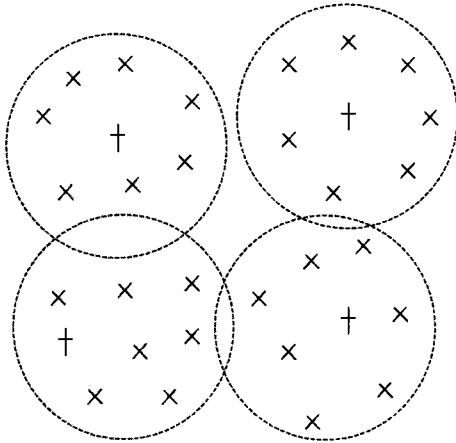


그림 2. LEACH-C의 클러스터 구조

steady phase에서는 TDMA schedule에 따라 노드들은 CH에게 데이터를 전달하고 데이터를 전달하지 않는 노드들은 휴식상태가 되어 에너지 효율을 높인다. 클러스터 내의 노드들에게 데이터를 전송받은 CH는 CDMA(Code Division Multiple Access)를 통하여 sink로 데이터를 전송한다. 그러나 LEACH 기법은 클러스터 헤더의 임의의 선출 방식으로 인하여 CH가 편중되어 클러스터 구조가 불균형해지는 단점이 있다.

LEACH의 클러스터 헤더 선출 방식의 문제점을 해결하기 위하여 LEACH-C는 sink가 각 노드들의 에너지 보유량과 위치정보를 이용하여 클러스터 헤더를 선출한다. round의 시작 부분에 각 노드들은 sink로 자신의 데이터를 전달한다. Sink는 노드들의 위치 정보를 이용하여 전체 네트워크 영역을 클러스터 수만큼 분할하고 CH를 선출함으로써 네트워크의 수명을 최적화한다. LEACH-C의 기법은 LEACH의 set-up phase의 CH 선출 기법만 다르고 나머지는 LEACH의 방식과 동일하다. 이 기법은 모든 센서 노드들의 위치 정보를 이용하여 클러스터를 형성하기 때문에 CH가 편중되어 불균형한 클러스터 구조를 형성하는 것을 방지한다. 그러나 노드들의 위치 정보를 알기위하여 GPS와 같은 장비를 이용하기 때문에 이에 따른 추가적인 에너지 소모가 발생하는 단점이 있다.

2.2 M-LEACH

M-LEACH는 LEACH와 LEACH-C의 노드들의 이동성을 지원하기 위해 제안되었다. M-LEACH는 기존의 LEACH와 LEACH-C의 transmission phase에 Invitation phase를 추가하여 센서 노드들의 이동성을 체크한다. Invitation phase 동안 모든 노드들은 CHs로부터 자신의 위치와 속력 정보, 에너지 정보를 입력

받아 수식 2와 수식 3을 이용하여 새로운 CH를 선택한다. M-LEACH의 round는 그림 3과 같이 구성된다.

한 round의 set-up phase에서 모든 노드는 자신의 위치와 속력 정보를 sink로 전송한다. 데이터 정보를 받은 sink는 LEACH-C와 같은 방법으로 클러스터링을 한 후 CH를 선출한다. 수식 2의  $N_j$ 는 네트워크의 전체 노드 수,  $x_i, y_i$ 는  $i$ 번째의 노드의  $x, y$  좌표 값,  $v_i$ 는  $i$ 번째 노드의 속력 값을 말한다.

$$x_j^c = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} x_i \tag{2}$$

$$y_j^c = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} y_i$$

수식 2. M-LEACH의 cluster의 중심 거리 공식

$$C_i^j = v_i * \sqrt{(x_i - x_j^c)^2 + (y_i - y_j^c)^2} \tag{3}$$

수식 3. M-LEACH의 CH 선출 공식

transmission phase 동안 이동 노드가 CH로부터 멀어짐을 확인하기 위해 M-LEACH에서는 Invitation phase를 추가하였다. Invitation phase동안 모든 CH는 자신의 위치 정보와 속력, 에너지 정보를 broadcast하고 CH로부터 정보를 받은 노드들은 수식 4와 같이 willingness(W)와 cost(C)를 계산한다. 수식 4의  $E_i$ 는 노드  $i$ 의 에너지양이다.

$$W_i^j = \frac{E_i}{N_j} \tag{4}$$

$$C_m^a = W_i^j * d_{m,i}$$

수식 4. Invitation phase에서 CH의 cost 계산

모든 센서 노드들은 자신의 CH와 새로운 정보를 받은 CH의 cost를 비교하여 cost가 적은 CH를 선택한다. 이 때 CH는 자신의 정보를 broadcast하는 통신 비용과 센서 노드들이 새로운 CH에게 조인 요청을 하는 부가적인 업데이트 비용이 발생된다. 또한 너무 많은 조인 요청으로 인하여 클러스터 내의 노드가 균일하지 못하는 노드 밀도 불균형 문제를 야기한다.

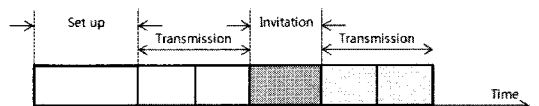


그림 3. M-LEACH의 round 구성

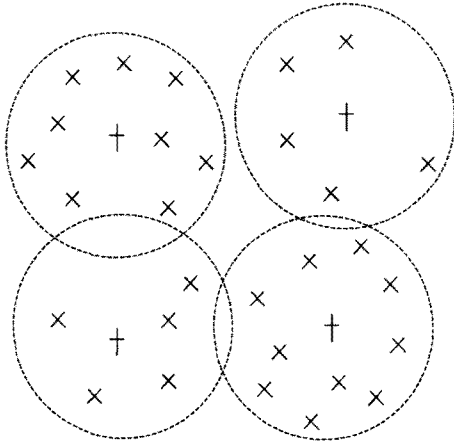


그림 4. M-LEACH의 Invitation phase 후의 클러스터 구조

2.3 EMSP(Efficient Mobility Support Protocol)

EMSP의 virtual cluster 기법과 node split 기법은 round의 중간에 이동 노드의 위치를 업데이트하고 새로운 CH를 선택할 때의 소비되는 에너지 소모량을 절감한다. 또한, 노드의 새로운 CH 선택과정에서 너무 많은 조인 요청으로 인하여 한 클러스터 내에 노드가 집중적으로 위치하는 노드 밀도 불균형 문제를 해결한다.

제안된 기법을 구현하기 위하여 LEACH-C와 M-LEACH에서 적용된 가정을 설정한다.

1. 모든 센서 노드들의 초기 에너지량은 모두 같다.
2. 모든 센서노드들은 GPS를 장착하여 위치를 알고 있다.
3. sink의 에너지는 무한하고 위치는 고정되어 있다.
4. 모든 노드들은 sink와 직접 통신이 가능하며 전송에 필요한 거리 대비 에너지 소모량은 모두 같다.

위의 가정을 기반으로 제안된 기법의 전체적인 동작 순서는 다음과 같다.

- Step 1 :** 모든 노드들은 sink에 위치, 속력, 에너지 정보를 전송한다.
- Step 2 :** Sink는 클러스터를 분할하고 CH를 선출한다.
- Step 3 :** CH로 선출된 노드는 broadcast하여 노드들에게 CH임을 알린다.
- Step 4 :** CH의 정보를 받은 노드들은 자신의 CH를 선택한다.
- Step 5 :** 노드들의 정보를 받은 CH는 TDMA schedule에 따라 데이터를 전송받는다.

- Step 6 :** transmission phase 동안 노드들은 CH에 데이터를 전송한다.
- Step 7 :** round의 중간에 노드들은 CH로부터 정보를 전송 받아 cost를 비교한다.
- Step 8 :** Invitation phase 동안 노드들의 새로운 CH 선택의 업데이트 과정이 진행된다.
  - 노드가 virtual cluster 내에 존재한다면 기존의 CH와 통신 유지
  - 그렇지 않다면 새로운 CH에게 조인 요청
- Step 9 :** 클러스터 내의 노드 수가 split factor보다 크

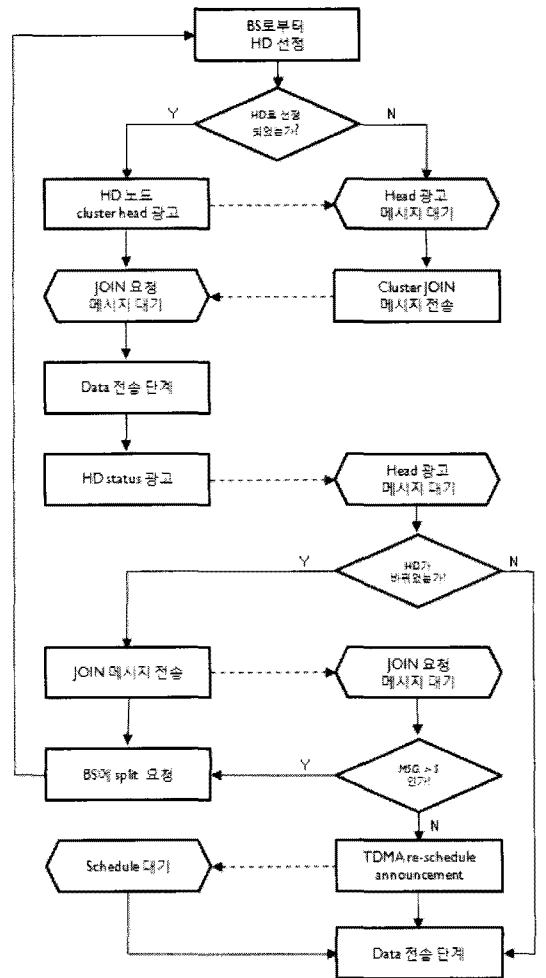


그림 5. EMSP 동작 순서도



그림 6. EMSP의 round 구성

다면 CH는 Node Split을 요청한다.

**Step 10 :** 노드들은 CH에게 re-schedule에 따라 데이터를 전송한다.

2.2.1 Virtual Cluster(EMSP Scheme1)

virtual cluster는 LUR-tree에서 사용되는 Expanded MBR을 무선 센서 네트워크에 적용한 것이다. 그림 7의 Expanded MBR은 다차원의 데이터의 업데이트 비용을 줄이는 데 효율적인 색인구조이다. 노드의 삽입과 삭제가 발생할 때마다 트리 구조의 업데이트 비용이 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 MBR보다 큰 Expanded MBR을 설정한다.  $\Delta\delta$ 는 Extension value로 만약  $\Delta\delta$ 가 0이면 Expanded MBR은 MBR의 크기와 같아진다.  $\Delta\delta$ 의 값이 커질수록 데이터의 업데이트 비용을 줄이지만, MBR이 겹치게 되어 검색 연산을 수행하는 비용이 증가되는 단점이 있다.

Expanded MBR을 응용한 virtual cluster의 개념은 클러스터보다 더 큰 가상의 클러스터를 구성하여 노드가 가상의 클러스터 안에 존재한다면 현재의 CH와 계속 통신하는 것이다. 기존의 transmission phase에서 이동 노드들의 이동성을 확인하기 위하여 Invitation phase를 추가하여 모든 노드들은 모든 CH로부터 받은 데이터 정보로부터 새로운 CH를 선택하였다. 이때 노드의 업데이트를 위해서 각 노드는 CH로부터 위치, 속력 및 에너지 정보를 전송 받고, cost를 비교하여 새로운 노드를 선택하였다. EMSP 기법에서의 노드 업데이트 과정은 다음과 같다.

**Step 1 :** CH는 모든 노드에게 broadcast하여 현재 위치와 속력을 전송한다.

**Step 2 :** 노드는 현재의 CH와 새로운 CH와의 cost를 계산한다.

**Step 3 :** 새로운 CH의 cost가 적다면 노드는 virtual

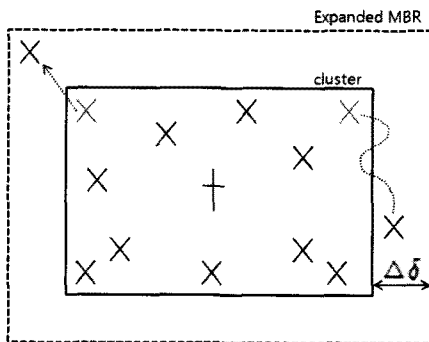


그림 7. Expanded MBR

cluster에 위치하는가를 판단한다.

**Step 4 :** 노드가 virtual cluster에 있다면 노드는 기존의 CH와 통신하고, 그렇지 않다면 새로운 CH에 조인요청을 한다.

Invitation phase에서 노드가 새로운 CH를 선택하기 위한 cost는 수식 6로 정의한다. 노드들은 모든 CHs로부터 위치와 속력 정보를 전송 받아 현재의 CH와의 cost를 비교한다. 새로운 CH의 cost가 적다면 노드는 virtual cluster 안에 존재하는지의 유무를 판단한다. virtual cluster의  $\Delta\delta$ 는 노드가 새로운 CH에 조인 요청을 하고 새로운 CH가 re-schedule을 작성하여 전송받는 에너지의 양보다 적도록 설정한다.

한 클러스터의 N개의 노드가 있다고 가정하였을 때 Invitation phase에서 노드들로부터 s개의 메시지를 받은 CH는 transmission phase동안 N-1+s개의 데이터를 수신한다. 그러나 s개의 메시지가 virtual cluster 내에 존재한다고 가정하면 노드들은 새로운 CH에게 조인 요청을 하기위한 데이터 전송 비용과 re-schedule을 받기위한 추가적인 통신비용을 줄인다. 수식 5와 수식 6은 Invitation phase동안 s개의 메시지를 받았을 때의 CH의 에너지 소모량과 virtual cluster에 존재하였을 때의 CH의 에너지 소모량을 수식적으로 표현한 것이다. First Order Radio Model을 이용하여 수식으로 표현하였으며 K bit의 데이터를 전송하기 위하여 소모되는 에너지 총량은  $E_{Tx-cluster}$ , 데이터를 수신하기 위하여 소모되는 에너지 총량은  $E_{Rx-cluster}$ 이다.  $E_{elec}$ 는 무선 신호를 처리하기 위해 소모되는 에너지 양이고,  $\epsilon_{amp}$ 는 데이터의 무선 전송을 위해 사용된 신호 증폭을 위해 소모되는 에너지양이다.

$$E_{Tx-cluster}(k, d) = (N-1) * E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * \sum_{i=1}^{N+s} d_i^2 \quad (5)$$

$$E_{Rx-cluster}(k) = (N-1 + S) * E_{elec} * k$$

수식 5. s개의 메시지를 받은 CH의 업데이트 에너지 소모량

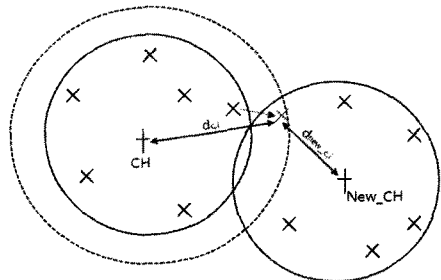


그림 8. virtual cluster

$$E_{Tx-cluster}(k,d) = (N-1) * E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * \sum_{i=1}^N (d + \Delta\delta)_i^2 \quad (6)$$

$$E_{Rx-cluster}(k) = (N-1) * E_{elec} * k$$

수식 6. virtual cluster를 적용하였을 때의 CH의 에너지 소모량

### 2.2.2 Node Split 기법(EMSP Scheme2)

노드의 업데이트 과정에서 한 클러스터의 CH가 s개의 메시지를 받았을 경우 클러스터의 노드들이 균등하게 분포되지 못하는 노드 밀도 불균형 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위하여 제안된 기법은 기존의 R-tree에서 사용되는 split 기법 중 linear split 기법을 적용하여 노드의 분포를 균등하게 한다. node split 과정은 다음과 같다.

**Step 1 :** s개 이상의 조인 요청을 받은 CH는 sink에 node split을 요청한다.

**Step 2 :** Sink는 클러스터의 dx와 dy를 구하여 크기를 비교한다.

**Step 3 :** 만약 dx>dy 이면 sink는 dx의 두 개의 노드를 CH로 선정한다. 그렇지 않다면 sink는 dy의 두 개의 노드를 CH로 선정한다.

**Step 4 :** CH로 선정된 두 개의 노드는 broadcast하여 자신의 위치, 속력 정보를 전송한다.

**Step 5 :** 두 개의 CH로부터 정보를 받은 각 노드는 cost를 비교하여 CH를 선택한다.

node split 과정에서 CH 선출 후 노드가 새로운 CH를 선출하는 과정의 cost는 기존의 제안된 기법의 cost와 같다. 또한 새로운 CH로 선출된 두 개의 노드는 broadcast하여 자신의 위치, 속력 정보를 전송하고 조인 요청을 받은 CH는 새로운 schedule을 전송한다. N+s개의 노드에서 새로운 클러스터의 노드 수는  $s \leq (node) \leq N$  로 정의하여 최대 N개의 조인 요청

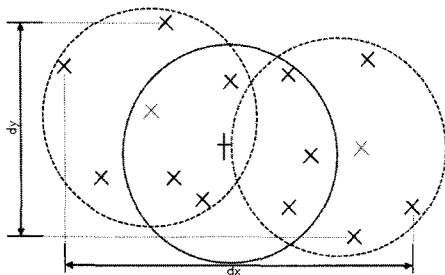


그림 9. node split 과정

을 받은 CH의 에너지 소모량은 수식 7과 같다.

$$E_{Tx-cluster}(k,d) = 2 * N * E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * \sum_{i=1}^{N+1} d_i^2 \quad (7)$$

$$E_{Rx-cluster}(k) = (N-1) * E_{elec} * k$$

수식 7. Node Split 기법의 CH 에너지 소모량

## III. 실험

본 논문에서도 LEACH와 M-LEACH에서 사용된 First Order Radio Model<sup>[16]</sup>을 사용하였다. 실험에 적용된 환경 변수들의 값은 다음과 같다.

위의 환경변수와 First Order Radio Model을 적용하여 시뮬레이션 환경을 구축하였다. 전체 네트워크의 크기는 100×100, 150×150과 200×200으로 설정하였고, 노드의 수는 50개, 100개, 200개가 있다고 가정하였다. 전체 노드의 초기 CH 비율은 최적 비율인 노드의 수의 5%를 기준으로 하였다<sup>[17]</sup>. 이동 노드의 움직임은 Random Way Model<sup>[18]</sup>로 하여 실험하였다. 실험에 사용한 환경변수는 표 1과 같다.

표 1. 실험 환경변수

환경변수	값
네트워크 크기(M*M)	100×100, 150×150, 200×200
노드의 수(N)	50, 100
각 노드의 초기에너지	1J
초기 클러스터의 수	전체 노드의 5%
노드의 데이터 송, 수신 의 소모 에너지양(Eelec)	50nJ/bit
무선 증폭 에너지(Eamp)	100pJ/bit
데이터의 크기	500byte

### 3.1 Virtual Cluster기법(EMSP Scheme1) 성능 분석

에너지 소모량을 비교하기 위하여 무선 센서 네트워크의 계층적 기법인 LEACH-C와 노드의 이동성을 고려한 M-LEACH와 비교하여 실험하였다. 그림 10과 그림 11은 네트워크의 크기가 100×100 환경에서 100개의 이동 노드를 임의로 배치하고 각 round의 중간에 새로운 CH를 선출하기 위한 누적 에너지 소모량을 비교한 것이다. 실험 환경변수는 표 1과 동일하며 최적 클러스터의 CH 수는 전체 노드의 5%이다. 시뮬레이션 결과, 100 round 동안 EMSP 기법의 에너지

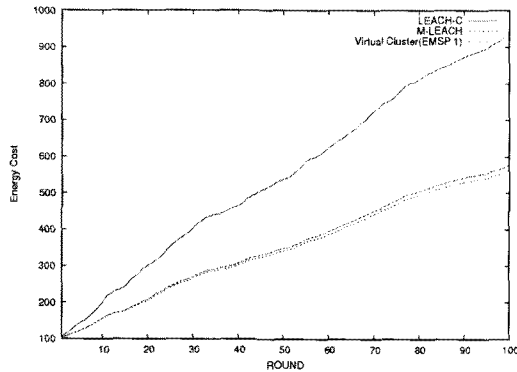


그림 10. 100개 노드에서의 100 round 동안의 에너지 소모량 비교

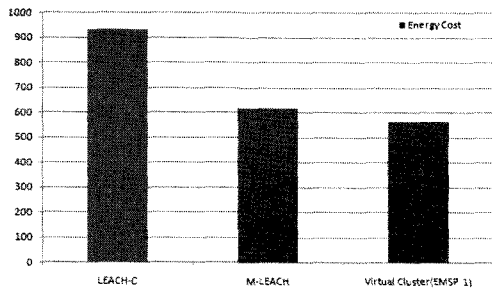


그림 11. 100개 노드에서의 100 round 동안의 에너지 소모량 비교

소모량이 LEACH-C의 누적 에너지 소모량보다 약 40%, M-LEACH의 누적 에너지 소모량보다 약 8% 절감되었다.

그림 12와 그림 13은 한 round 동안의 노드가 새로운 CH를 선택하여 조인 요청을 하는 메시지의 수를 비교한 것이다. 그림 12는 노드의 수가 100개 일 때 초기 클러스터의 수를 5%로 하였을 때의 Invitation phase 후의 각각의 클러스터내의 노드의 수를 나타낸

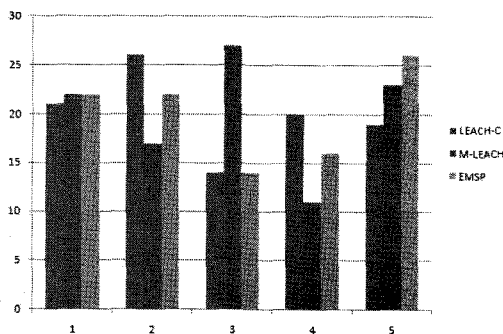


그림 12. Invitation phase 후의 각각의 클러스터 내의 노드의 수

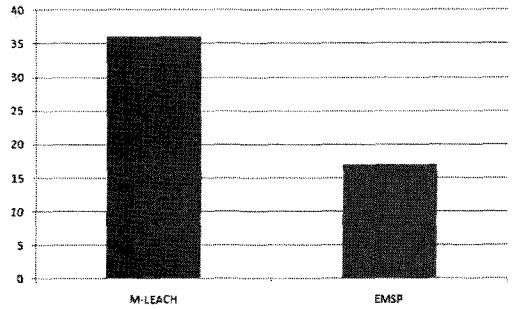


그림 13. M-LEACH와 EMSP의 조인 요청 메시지 수 비교

것이다. M-LEACH의 경우 너무 많은 조인 요청으로 인하여 클러스터내의 노드 분포가 균일하지 않은 것을 알 수 있다. 그림 13은 M-LEACH와 EMSP의 메시지 교환횟수를 도식화한 것이다. 한 round 동안의 평균적으로 M-LEACH의 경우 36회, EMSP의 경우 17회로 약 2배의 차이가 났다. 이는 조인요청으로 인하여 발생하는 에너지 소모량이 EMSP 기법이 더 적은 것을 의미한다.

그림 14는 100개의 노드에서 네트워크의 크기를 100×100, 150×150, 200×200으로 하였을 때의 제안된 기법의 에너지 소모량을 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과, 네트워크의 크기를 200×200으로 구축하였을 때 에너지 소모량이 큰 것을 알 수 있다. 이는 데이터를 송신할 때의 First Order Radio Model의 에너지가 거리의 제곱에 비례하므로 센서 네트워크의 크기가 커질수록 에너지 소모량이 커짐을 알 수 있다.

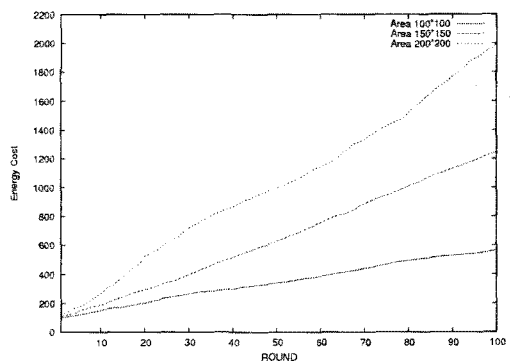


그림 14. 네트워크 환경을 달리하였을 때의 에너지 소모량 비교

### 3.2 Node Split 기법(EMSP Scheme2) 성능분석

이번 실험은 CH가 조인요청을 s개 이상 받았을 때 노드 밀도 불균형 문제를 해결하기 위하여 제안된 node split기법의 성능을 분석한 것이다. 실험 결과를

비교하기 위하여 M-LEACH와 앞에서 제안된 virtual cluster를 적용하였을 때, virtual cluster 적용 후 제안하는 기법인 node split을 적용하였을 때를 시뮬레이션 하였다. 그림 15는 node split 기법을 적용하기 위하여 split factor를 달리하였을 때의 에너지 소모량을 비교한 것이다. Split factor는 s개 이상의 메시지의 개수를 받은 클러스터의 노드 수를 정의한 것으로 수식 (8)과 같다.

$$Split\ factor = SP * \frac{N(Cluster\ Node)}{N(CHNode)} \quad (8)$$

수식 8. Split factor

Split factor는 수식 8과 같이 한 클러스터내의 노드 수가 전체의 노드 수에서 CH로 나눈 수의 0.5배, 1.5배, 2배 하였을 때로 정의하였다. 그림 15와 같이 split factor를 2배 하였을 경우에 에너지 소모량이 가장 효율적이지만, 100개의 노드에서 한 클러스터 내의 노드가 40개 이상이 존재하여야 하므로 클러스터의 CH가 약 20개 이상의 메시지를 받았을 경우에 node split 기법이 적용된다. 따라서 본 논문에서는 node split이 적용되었을 때의 에너지 소모량을 비교하기 위하여 split factor를 1.5로 하였을 때를 적용하여 기존의 제안된 기법들과 비교하였다.

그림 16과 그림 17은 node split 기법을 적용하여 센서 네트워크의 크기가 100x100 환경에서의 노드의 수가 100개, 50개 일 때의 시뮬레이션 결과이다. 실험 결과 제안된 node split은 100 round 동안 M-LEACH의 에너지 소모량보다 약 8%의 효율을 보였으며 이전의 제안된 virtual cluster 기법과는 근사한 차이를 보였다. 이는 virtual cluster를 적용한 후, split factor에 따라 node split 기법이 적용되기 때문에 node split 기법이 적용되지 않는 경우는 virtual cluster의 기법의

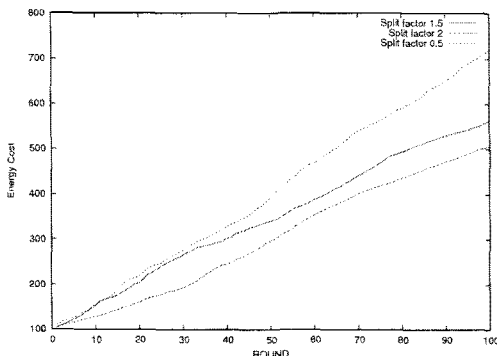


그림 15. Split factor를 달리하였을 때의 에너지 소모량

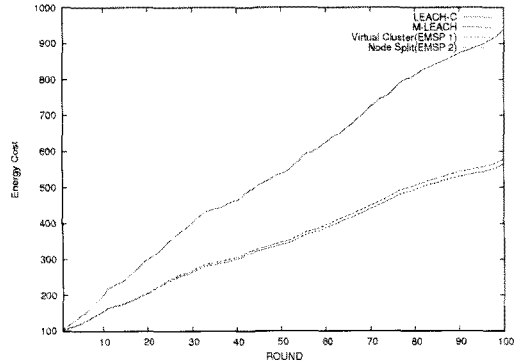


그림 16. 노드의 수가 100개 일 때의 에너지 소모량 비교

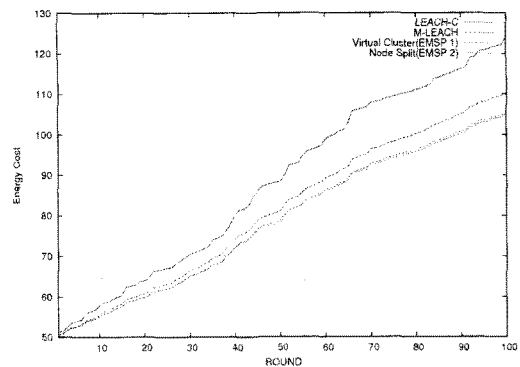


그림 17. 노드의 수가 50개 일 때의 에너지 소모량 비교

에너지 소모량과 동일하게 된다. 그러나 node split 기법의 적용은 virtual cluster 기법과 비슷한 에너지 소모량을 가질 지라도 기존의 제안된 기법에서 조인 요청으로 인하여 발생하는 노드 밀도 불균형 문제를 해결한다.

그림 18은 센서의 크기를 달리하였을 때의 node split 기법의 에너지 소모량을 비교하였다. 시뮬레이션에 사용된 환경변수는 표 1과 동일하며 노드의 수는 100개이다. Virtual cluster 기법과 마찬가지로 동일 환경에서 센서 네트워크의 크기가 200x200의 에너지 소모량은 데이터를 송신할 때 거리의 제곱에 비례하므로 네트워크의 크기가 커질수록 에너지 소모량이 커짐을 알 수 있다. 마지막으로 그림 19는 150 round 동안의 살아있는 노드 수를 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과, 첫 번째 죽은 노드가 LEACH-C에서는 54 round, M-LEACH와 virtual cluster, node split 기법은 83 round였다. 이는 노드의 이동성을 고려하지 않은 LEACH-C 기법의 경우 노드가 CH로 데이터를 전송하기 위해 많은 에너지를 소비한다는 것을 의미한다. 또한 M-LEACH와 제안된 기법의 죽은 노드 발견



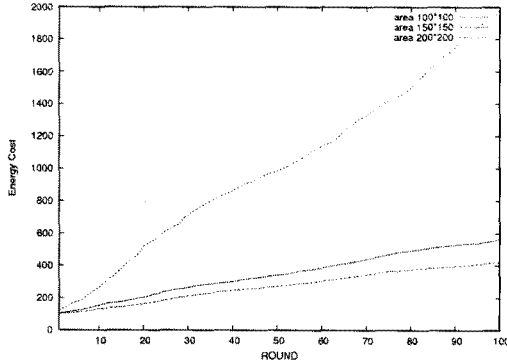


그림 18. 센서 네트워크의 크기를 달리하였을 때의 에너지 소모량 비교

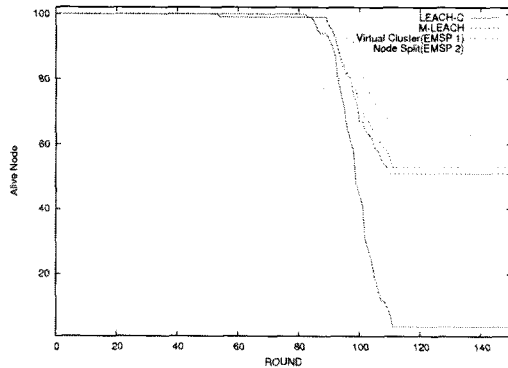


그림 19. 150 round 동안 살아있는 노드의 수 비교

시점은 동일하지만, invitation phase의 업데이트 과정에서 불필요한 에너지 소비를 줄임으로써 EMSP 기법의 살아있는 노드의 수가 현저히 높은 것을 알 수 있다. node split 기법의 경우 virtual cluster 기법을 적용하였을 경우보다도 살아있는 노드의 수가 많은 것은 노드 밀도 불균형으로 인해 CH의 에너지 소비가 증가되는 것을 방지하기 위하여 클러스터를 분할함으로써 에너지 소비를 균등하게 하였기 때문이다. 이는 EMSP 기법이 센서 네트워크의 lifetime을 연장하는데 LEACH-C와 M-LEACH 기법보다 효율적임을 보여준다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 위치를 알고 있는 이동 노드의 효율적인 클러스터링 기법인 EMSP(Efficient Mobility Support Protocol) 기법을 제안하였다. 기존에 제안된 M-LEACH 기법은 Invitation phase 동안 노드의 위치를 재전송하여 근접한 CH와

의 cost를 비교 후, 새로운 CH에게 조인 요청을 한다. 그러나 이 방식은 노드가 CH에게 조인 메시지를 요청하는 전송 비용과 CH의 re-schedule을 전송 받아야 하는 추가적인 통신비용이 발생하는 단점이 있다. 또한, 너무 많은 조인 요청을 받은 클러스터로 인하여 한 클러스터 안에 많은 노드들이 분포하는 노드 밀도 불균형 문제를 야기한다. 이를 해결하기 위하여 EMSP의 virtual cluster는 현재의 클러스터보다 큰 가상의 클러스터를 구성하여 노드가 가상의 클러스터에 존재하면 기존의 CH와 통신을 할 수 있도록 하였다. 또한, 한 클러스터 내의 노드가 집중되는 것을 방지하기 위하여 노드의 조인 요청 메시지를 일정 이상 받은 CH는 node split 기법을 통하여 균일한 노드 밀도를 유지하도록 하였다. 성능 평가 결과, 기존의 LEACH-C protocol에 비하여 약 40%, M-LEACH 기법에 비하여 EMSP 기법은 약 8%의 에너지 소모량을 절감하였다. 향후 과제로는 node split 기법의 split factor를 최적화하는 기법과 멀티 홉을 적용하였을 때의 클러스터링 기법의 에너지 효율을 높일 수 있는 방안을 연구해야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] C. Intanongwiwat, R. Govindin, D. Estrin, JHeidemann, and F. Silva "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol.11, No.1, pp.2-16, Feb 2003.
- [2] J. Kilik, W. Rabiner, and H. Balakrishnan "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," Proc. ACM Mobicom '99, pp.174-185,1999.
- [3] Heinzelman W, Chandrakasan A, and Balakrishnan H, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," Proceedings of the 33rd International Conference on System Science (HICSS '00), 2000.
- [4] W. Heinzelman, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Micro sensor Networks," IEEE ToWC, Vol.1, No.4, 2002.
- [5] S. Lindsey and C. Raghavendra, "PEGASIS : Power-Efficient Gathering in Sensor Information System," IEEE Aerospace Conf. Proc, Vol.3, pp.1125-1130, 2002.

[6] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal "TEEN : A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Network," 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issue in Wireless Networks Mobile Computing, April, 2001.

[7] Jamil Ibrqi and Imad Mahgoub "Cluster-Based Routing in wireless Sensor Networks : Issue and Challenges," SPECTS '04, 2004.

[8] Kemal Akkaya and Mohamed Younis "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, August 2002.

[9] 김현덕, 최원익, "체인기반 프로토콜에서 노드의 거리에 따른 예비 헤드노드 선출 방법," Journal of Korea Multimedia Society, pp.1273-1287, 2009.

[10] Ian F.Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarabramaniam, and Erdal Cayirci "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, August, 2002.

[11] Lan Tien Nguyen, Xavier Defago, Razvan Beuran, and Yoichi Sinoda, " An Energy Efficient Routing Scheme for Mobile Wireless Sensor Networks," IEEE ISWCS, pp.568-572, 2008.

[12] Do-Seong Kim and Ueong-Jee Chung, "Self-Organization Routing Protocol Supporting Mobile Nodes for Wireless Sensor Networks," IMSCCS, 2006.

[13] G. Santhosh Kumar, Vinu Paul M V, and K.Poulose Jacob, "Mobility Metric based LEACH-Mobile Protocol," ADCOM, pp.248-253, 2008.

[14] Dongseop Kwon, Sangjun Lee, and Sukho Lee, "Indexing the Current Positions of Moving Objects Using the Lazy Update R-tree," Proc. of MDM, 2002.

[15] Antonin Guttman "R-Tree: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching," Proco. of SIGMOD, 1984.

[16] Y. Kiri, M. Sugano, and M. Murata, "On characteristics of multi-hop communication in largescale clustered sensor networks", IEICE Transactions on Communications E90-B, 2007.

[17] P. Agarwal and C. Procopiuc, "Exact and approximation algorithms for clustering," in Proc. 9th Annual. ACM-SIAM Symp. Discrete Algorithms, Baltimore, MD, pp.658-667, 1999.

[18] T. Camp, J.Beleng, and V.Davies, "A survey of mobility models for ad hoc network research," Wireless Communications & Mobile Computing (WCMC):Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Application, Vol.2, No.5 pp.483-502, 2002.

이 은 희 (Eun-Hee Lee)

준회원



2009년 인하대학교 정보통신공학과(공학사)  
2011년 인하대학교 정보공학과(공학석사)  
<관심분야> 무선센서 네트워크

김 현 덕 (Hyun-Duk Kim)

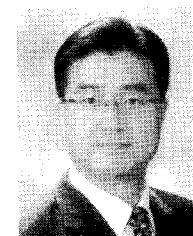
정회원



2009년 인하대학교 일반대학원 정보공학과(공학석사)  
2009년~현재 인하대학교 일반대학원 정보공학과 박사재학  
<관심분야> 센서 네트워크, 애드혹 네트워크, 데이터 베이스

최 원 익 (Won-Ik Choi)

정회원



1996년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학사)  
1998년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)  
2004년 서울대학교 대학원 전기컴퓨터공학부(공학박사)  
2006년~현재 인하대학교 정보통신공학부 조교수

<관심분야> 모바일/유비쿼터스 컴퓨팅, GIS/LBS, 텔레매틱스

채진석 (Jin-Seok Chae)

정회원



1983년~1990년 서울대학교 컴  
퓨터공학과(공학사)

1990년~1992년 서울대학교 대  
학원 컴퓨터공학과(공학석사)

1992년~1998년 서울대학교 대  
학원 컴퓨터공학과(공학박사)

1992년~1997년 서울대학교 공  
학연구소 조교

1997년~1998년 한국학술진흥재단 부설 첨단학술정  
보센터 선임연구원

2006년~2007년 California State University San  
Bernardino 방문교수

1998년~현재 인천대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야> 인터넷 소프트웨어, 웹 표준 및 접근성,  
모바일 프로그래밍